

해양구조물 소음 진동 예측 및 제어 연구

Study on Prediction and Control for Noise and Vibration of Offshore Structures

송근복† · 이찬희* · 김성훈* · 김희원* · 주원호*

Keun-Bok Song, Chan-Hee Lee, Sung-Hoon Kim, Hei-Won Kim and Won-Ho Joo

1. 서 론

최근 다양한 종류의 유전 개발용 고부가가치 해양구조물의 수요가 지속적으로 증가하고 있다. 해양 유전 개발에 사용되는 구조물은 일정 해역에 장기간 계류하면서 바람, 조류, 파도와 같은 환경 하중에 노출되기 때문에 여러 가지 경제적, 기술적 문제점에 직면하게 된다. 따라서 해양구조물은 기계 장비들의 작동성(operability) 확보 및 해상에서 장기간 거주하게 되는 작업자들의 거주구역 안락성 (comfortability)과 작업 시 청력손상, 경고음 미감지로 인한 위험 등으로부터 보호하기 위한 안전성(safety) 측면에서 엄격한 소음 진동 규제를 받고 있다. 특히 최근에는 작업환경 및 주거환경에 대한 저진동 저소음 중요성이 커짐에 따라 엄격한 기준이 적용되고 있다. 따라서 설계 단계에서 진동과 소음을 평가하는 것은 생산 설비들의 연속적인 작동성과 작업자의 안락성 및 안전성 확보 측면에서 매우 중요하다.

본 연구에서는 해양구조물의 엄격한 진동 소음 규제 만족을 위해 초기 설계단계부터 기존에 축적되어 있는 시험 및 계측 결과를 바탕으로 각 구역별 진동 소음 수준을 예측하는 기법을 제시하였고 초과하는 구역에 대해서 적절한 제어 수단을 강구하였다.

2. 해양구조물 진동

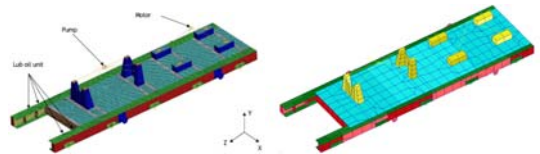
2.1 진동 해석 절차

해양구조물의 진동해석을 위해 적절한 기준에 따

라 진동 기진원인 장비를 선택하고 전체 해석 모델에 반영한 후 기진력을 평가한다. 공진 가능성과 지지구조의 동강성 확보 검증을 위한 고유진동 해석 및 기진력을 이용한 강제진동 해석을 수행하여 진동수준을 계산하고 허용치와 비교한다.

2.2 진동 해석 및 평가

주요 기진 장비를 해양구조물의 진동 해석 모델에 포함할 때 집중 질량법과 단순화된 모델을 구축하여 고려하는 방법으로 나눌 수 있다. 집중질량 치환의 방법은 정보가 부족한 초기 설계 단계에서 유효하나 정확도에 한계가 있으며 상세 요소 모델법은 계산 시간이 오래 걸리고, 모델 입수에 어려움이 많다. 따라서 본 논문에서는 해석 시간을 단축하고 신뢰성을 향상 시킨 단순화 모델 방법을 사용하였다. Figure 1는 주요 장비 중의 하나인 오일 이송 펌프에 대한 상세 모델과 단순화 모델을 비교하였으며, 모델 사이즈를 90% 이상 줄일 수 있었다.



(a) 상세 모델 (b) 단순화 모델
Figure 1 오일 이송 펌프의 유한요소 모델

기계장비로부터 발생하는 기진력과 공진 가능성 및 동강성 확보 검증을 확인하기 위해 고유진동해석을 수행한다. 구조보강 등의 방법으로 필요한 동강성이 확보되지 못하거나 완벽한 공진 회피가 불가능한 경우 강제진동 해석을 수행하여 진동수준을 평가한다. 장비의 기진력은 장비 제조업체로부터 입수하는 것이 정확하며 불가능할 경우 진동 계측 결과를 이용하여 추정하거나 불평형력을 이용한다.

여러 장비에 의한 구조물의 진동 응답 해석 시에 일반적으로 동일 위상 조건으로 계산한다. 하지만 실제 운전 조건에서 장비들로부터 발생하는 기진력

† 현대중공업 동역학연구소
E-mail : kbsong@hhi.co.kr
Tel : (052)202-5491, Fax : (052)202-5495
* 현대중공업 동역학연구소

은 위상이 다르며 이 위상 차이는 진동 응답에 직접적으로 영향을 끼치게 된다. 다수의 장비들로부터 생기는 가진력들의 상대 위상을 효과적이면서도 보수적으로 평가하기 위하여 RSS(Root Squared Summation) 방법을 도입하였다. RSS 방법의 수학적 정의는 식 (1)과 같으며, 간단하면서도 편리하게 확률 통계학적으로 최대의 응답을 계산할 수 있다.

$$V_{total} = \sqrt{\sum v_i^2} \quad (1)$$

여기서 v_i 는 i 번째 가진력에 의한 응답 크기이며, V_{total} 은 예상되는 최대 진동 응답 값이다.

2.3 진동 제어

해양구조물의 진동 제어 대책으로는 구조 보강을 통한 지지구조의 동강성 증가 및 공진 회피, 그리고 장비의 가진력 전달을 최소화 하는 방법이 있다. 초기설계 단계에서는 지지구조가 최대한의 동강성을 확보할 수 있도록 주요 부재 위에 장비가 설치되도록 해야 하며 배치 완료 후에는 진동해석을 통하여 구조 보강 설계안을 도출한다. 또한 적절한 방진 마운트 적용으로 가진력 전달을 효과적으로 저감시킬 수 있다.

3. 해양구조물 소음

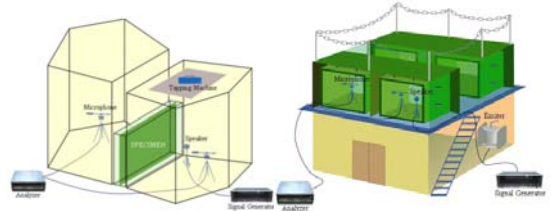
3.1 소음 해석 절차

해양구조물의 소음 해석은 거주구와 기관실의 실내 소음 뿐만 아니라 선체 상부(Topside) 원유 생산 및 정제 관련 설비 가동에 따른 옥외 소음도 고려한다. 또한 구역 자체 소음과 각 구역 간에 전달되는 소음도 포함해서 해석을 수행하고 작업자 별로 소음노출도를 평가한다.

3.2 예측 시스템 구축

엄격한 소음 규제를 만족하는 해양구조물을 성공적으로 건조하기 위해서는 초기 FEED 설계 단계에서부터 소음 진동을 예측하고 제어 방안을 강구하는 것이 중요하다. 이를 위해 기존 공사 자료를 이용하여 상세 설치 조건을 포함하는 데이터베이스를 구축하였고, 표준화된 예측 절차에 따라 구역별 초기 소음 검토가 가능한 시스템을 구축하였다. 소음 예측의 정확도를 보장받기 위해서는 소음원의 정확한 추정뿐만 아니라 선실 내장재의 흡음, 차음 및 방사소음 특성과 실선 설치에 따른 음향성능 저감 효과, 그리고 선실 격벽, 천장 및 바닥 구조 별 소음 전달 경로를 정확히 파악하고, 정량화된 자료를 확보하는 것이 무엇보다 중요하다. 이를 위하여

Fig. 2와 같이 대/소 잔향실과 거주구 Mock-up을 이용하여 수행한 다양한 음향시험으로부터 확보된 많은 음향자료들을 예측 시스템에 반영하였다.



(a) 소/대잔향실 (b) 거주구 목업

Figure 2 대형 소음 시험 설비

개발된 시스템은 장비, 선실, 기계실 소음 및 제어 대책 적용에 따른 저감량까지 예측 가능하여 초기 설계를 매우 효율적으로 진행할 수 있도록 하였다. 이러한 시스템은 선실 주 소음원 중의 하나인 HVAC 소음까지 포함하고 있다. 당사 해양구조물 설계시에 사용되는 3D 카드 시스템으로부터 덕트 연결 정보, 치수 등의 정보를 자동으로 추출함으로써 압력손실과 같은 성능 및 소음까지 평가할 수 있는 해석 시스템을 구축하여 저소음 고효율의 HVAC 설계가 가능하도록 하였다.

3.3 소음 제어

예측 결과를 기반으로 초과된 구역에 대해서, 위치별로 최적화된 제어 대책을 적용하였다. 거주구역의 경우 뜬바닥 구조, 고차음 패널 최적 적용 등이 있으며 기계구역은 경량 흡음 벽체 구조, 장비 차음 상자 적용을 할 수 있다. 또한 선체상부구조의 경우 밸브, 배관 등의 소음 예측을 통한 차음재의 최적 길이 선정과 HVAC 소음은 적절한 룸 유닛과 소음기 선정 및 유량 제어로 허용치를 만족할 수 있었다. 이러한 각 제어 방안들은 실선에서 그 효과를 검증하였다.

4. 결 론

본 논문에서는 해양구조물의 효과적이고 신뢰성 높은 진동 평가를 위한 절차를 제시하였고 해석 결과에 따른 제어 방안까지 검토하였다. 또한 엄격한 소음 규제를 만족하기 위해 음향 설비와 예측 시스템을 이용하였고 신뢰성 높은 해석 결과 및 제어 방안을 도출하였다. 또한 HVAC 성능 및 소음 해석 시스템을 구축하여 해양구조물의 소음 진동 전반에 대한 검토가 가능하도록 하였다.